6Д

УДК 621.865.8

О.В. Даринцев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра
Российской академии наук, г. Уфа
Россия, 450054, г. Уфа, проспект Октября, 71

Использование технологий расширенной и виртуальной реальностей при реализации алгоритмов управления коллективом роботов

O.V. Darintsev
Institute of Mechanics of Ufa Branch, RAS, c. Ufa
Russia, 450054, c. Ufa, Prospect Oktyabrya, 71

Use of technologies of augmented and virtual realities at realization of control algorithms for robotics collective

О.В. Дарінцев
Федеральна державна бюджетна установа науки
Інститут механіки ім. Р.Р. Мавлютова Уфімського наукового центру
Російської академії наук, м. Уфа
Росія, 450054, м. Уфа, Проспект Октября, 71

Використання технологій розширеної і віртуальної реальностей при реалізації алгоритмів управління колективом роботів

В статье рассмотрены методы решения задачи начального (рабочего) распределения роботов на плоскости с учетом заданных требований. Предложенные методы, основанные на технологиях расширенной и виртуальной реальностей, позволяют снизить аппаратные требования к бортовым вычислительным системам, перевести значительную часть вычислений в интеллектуальную надстройку без снижения качества управления и скорости перестроений.
Ключевые слова: планирование, виртуальная реальность, визуализация кодов.

In article, methods of the solution of a problem of initial (working) robots distribution on the working space taking into account the initial requirements are considered. The offered methods based on augmented and virtual realities technologies, that allow to lower hardware requirements to onboard computing systems, to transfer considerable part of calculations to an intellectual upper module without decrease in control quality and movement speed.
Key words: planning, virtual reality, code's visualization.

У статті розглянуті методи розв'язання задачі початкового (робочого) розподілу роботів на площині з урахуванням заданих вимог. Запропоновані методи, засновані на технологіях розширеної і віртуальної реальностей, дозволяють знизити апаратні вимоги до бортових обчислювальних систем, перевести значну частину обчислень в інтелектуальну надбудову без зниження якості управління і швидкості перестроювань.
Ключові слова: планування, віртуальна реальність, візуалізація кодів.

Введение

Перспективы развития микроробототехники часто напрямую связывают с результатами разработки алгоритмов управления коллективами микророботов, в которых одним из базовых этапов является распределение роботов в пространстве: задачи частичного или полного покрытия рабочей зоны, образование устойчивых формаций с заданной конфигурацией и т.д. Однако, в отличие от классических примеров управления, в данном случае существенное влияние на эффективность алгоритмов оказывает ограниченность информационно-вычислительного и энергетического обеспечений микророботов. Особый интерес представляют технологии и алгоритмы управления, учитывающие недостаток сенсорной информации, значительные задержки в каналах связи между агентами коллектива и(или) центральным узлом в случае организации централизованного управления. Достаточно хорошо известны работы, в которых предлагаются кластерный подход к организации управления, алгоритмы управления стаей (с постоянным или временным лидером), методики решения потенциальных задач и т.д. [1-4]. Но эти предложения строятся на принципах полного знания об окружающей среде, состоянии роботов и других активных агентов окружения, предполагается также, что отсутствуют задержки в передаче информации и сигналов управления, конфликты доступа, автономность объектов ограничена. Эксперименты с реальными прототипами мобильных микророботов показали, что процессы, протекающие в «микромире», носят недетерминированный характер, переходные процессы в микросистемах характерны для многосвязных нелинейных систем с явлениями гистерезиса.

В работах [3], [5] предлагались способы борьбы с информационным «голодом» микросистем посредством широкого использования методик виртуальной реальности, виртуальных датчиков, генерации кодов расширенной реальности для сокращения объемов передаваемой информации. С использованием достаточного большого объема модельного наполнения систем управления и их погружения в виртуальную среду, а также обоснованного применения интеллектуальных алгоритмов показана возможность реконструкции данных о текущей обстановке на основе неполной информации. Также следует учитывать, что в реальной среде, в которой функционирует коллектив мобильных роботов, могут присутствовать подвижные препятствия (другие мобильные роботы) или малозаметные преграды, движение в ней по предварительно рассчитанной траектории практически невозможно. Сложность систем планирования траекторий и управления перемещением растет в геометрической прогрессии с ростом количества учитываемых при расчетах факторов.

Целью данной работы является разработка методик использования возможностей расширенной и виртуальной реальностей при формировании начальных формаций коллективов. Параллельно решаются задачи планирования локальных траекторий, необходимых для управления роботами при их перемещениях в заданные точки пространства, а также алгоритмов генерации кодов расширенной реальности.

Маркеры расширенной реальности: образный способ передачи информации в коллективе

При формировании коллектива роботов с централизованной организацией управления проблемным является обеспечение достаточно высокой скорости обмена информацией, наиболее требовательным является канал обмена центральный узел-агент,

через который проходит поток управляющих команд, сенсорная информация, каналы обратной связи и т.д. Обмен информацией чаще всего организуется по технологии «точка-точка», так как использование известных технологий беспроводной передачи данных не предусматривает широкополосное вещание или многоканальный двухсторонний обмен. Эффективным решением проблемы может стать перевод информационных каналов в видимую часть спектра: использование имеющихся оптических систем, комплексов технического зрения для передачи и приема информации. Ограничения на пропускную способность и количество каналов обмена данными между узлом управления и агентами коллектива роботов будут определяться количеством оптических сенсоров, их разрешающей способностью и размерами видимого участка рабочей зоны.

Объемы и скорости передаваемой информации зависят от ее типа, так объем информации в каналах управления на несколько порядков ниже объемов сенсорной, рабочей информации и каналов обратной связи, которые передаются от агентов на центральный узел. Что вполне объяснимо: для генерации управляющих сигналов агентам центральному узлу необходимо сформировать проблемно-ориентированную модель внешнего мира, учитывающую специфику поставленных задач и способы их решения [6].

Для построения оптической системы обмена информацией предлагается использовать различные модификации 2D кодов: бинарные, цветные, динамические и многослойные варианты представления информации. Выбор определенного типа кода зависит от решаемой задачи и цели. Наиболее простой вариант кодирования базируется на технологии *DataMatrix.* Измерительные линейки по краям кода позволяют определить координаты и ориентацию кода, которые необходимы для дальнейшего его распознавания и могут использоваться системой управления как текущие координаты робота. Для коррекции ошибок с заданным запасом при кодировании информации применяется алгоритм Рида-Соломона: сообщение представляется в виде набора символов алфавита поля Галуа. Использовалось поле Галуа $GF(16)$, состоящее из 16 элементов, при построении которых использовались полином $x^4 + x + 1$ и примитивный элемент $a = 2$. Для получения 2D кода информация требуемого объема перемножается с порождающим многочленом $g(x)$:

$$g(x) = \prod_{(i=1..D-1)} (x + a^i) = (x + a^1)(x + a^2)...(x + a^{D-1}) .$$

В зависимости от общего и полезного количеств символов в сообщении порождающий многочлен может иметь разную структуру, так для общего количества символов $N = 15$ и «полезного» - $K = 9$ получим искомый полином в виде:

$$g(x) = (x+2)(x+2^2)(x+2^3)(x+2^4)(x+2^5)(x+2^6) =$$
$$= x^6 + 7x^5 + 9x^4 + 3x^3 + 12x^2 + 10x + 12.$$

Полученное закодированное сообщение будет представлено в двоичном коде, который отображается на дисплее миниробота в виде чёрно-белых элементов матрицы двумерного кода (рис. 1а). Обычно используется статичный вариант кода, который отображается некоторое время, достаточное для его распознавания, но такой вариант не приемлем для систем технического зрения усредненными значениями разрешения и контрастности. Поэтому предлагается в роботах использовать динамический (многокадровый вариант кода), когда сообщение разбивается на отдельные кадры, при формировании которых используется часть посылки предшествующего сообщения (рис. 1б).

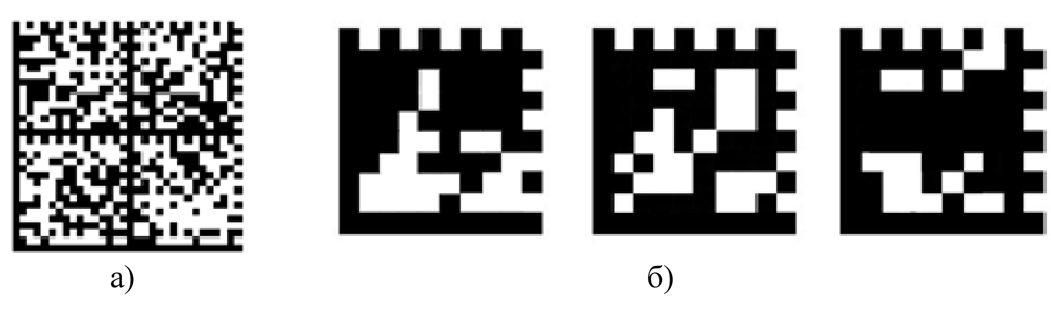


Рисунок 1 – Кодирование информации 2D кодом:
стандартный код (а) и динамический код (б)

Как видно из рис. 1 динамический код отличается большими размерами единичных элементов кода, соответственно снижаются требования к системам технического зрения, повышается скорость распознавания и снижается вероятность ошибки при дискретизации кадра. Таким образом, низкая емкость отдельных кадров динамического кода компенсируется более высокими скоростями обработки изображения и декодирования информации, что подтверждается многочисленными экспериментами на реальных прототипах мобильных роботов.

Во время тестирования системы рассматривались также варианты с многослойным (цветным) представлением кода, когда на центральную часть бинарного варианта кода накладывался цветной код с другим пакетом данных (рис. 2). При частичном несовпадении рисунков кода анализировался запас по гарантированному восстановлению ошибок в зависимости от выбранного уровня избыточности с использованием рекомендуемых *XOR*-масок: $(i + j) \bmod 2 = 0$, $i \bmod 2 = 0$, $((i \operatorname{div} 2) + (j \operatorname{div} 3)) \bmod 2 = 0$ и т.д.

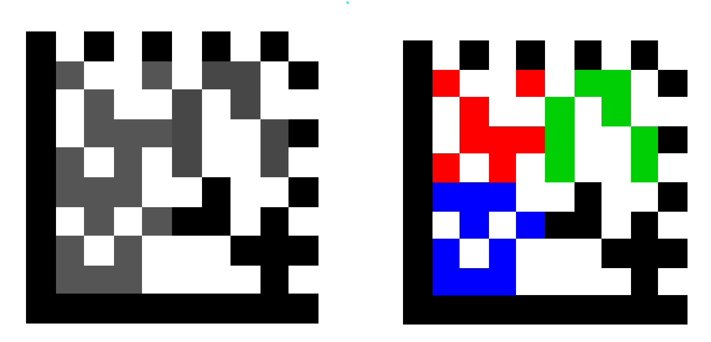
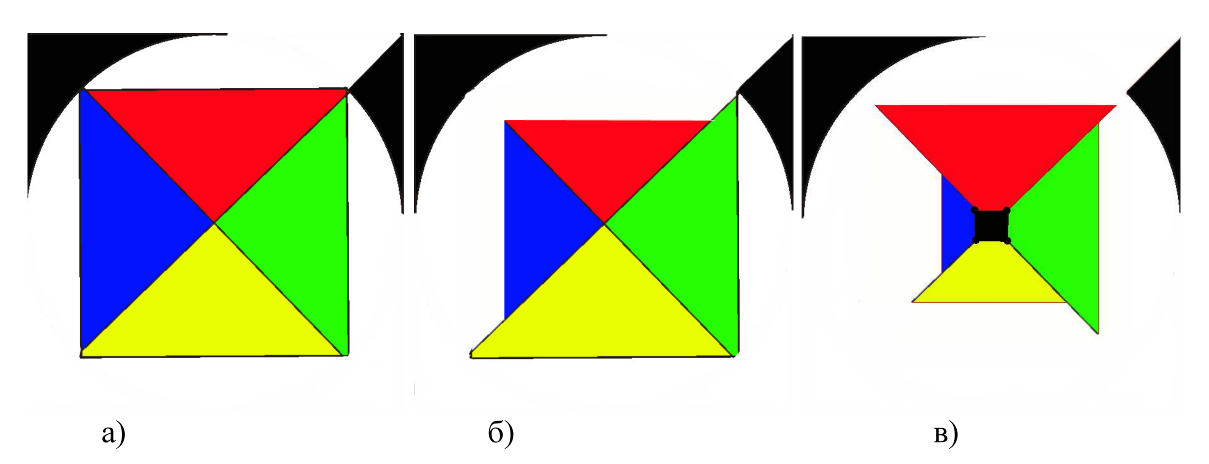


Рисунок 2 – Двухцветный (основной) слой кода как результат бинарного фильтра и полный вариант кода с тремя дополнительными цветовыми слоями

Для решения задачи распределения коллектива по плоскости с заданной конфигурацией использовался третий тип кода расширенной реальности – квадрантный цветной символ (рис. 3). С помощью предлагаемого варианта кодирования информации о ближайшем окружении робота облегчается решение потенциальной задачи для равномерного распределения роботов. Центральная часть кода представляет собой круг, разделенный на квадранты, соответствующие направлениям робота «вперед», «назад», «вправо», «влево», в центре кода также возможно присутствие черного «опорного» квадрата. Направление «вперед» выделено слева полноразмерным черным шевроном, а справа расположен шеврон половинного размера. Квадранты кода заливаются контрастными цветами в зависимости от расстояния до соседнего робота или

препятствия, при этом возможны 3 состояния: «норма», «далеко», «близко». Если измеряемое до препятствий расстояние имеет более 3-х уровней, в этом случае в код дополнительно вводится центральный квадрат (рис. 3в).



а) б) в)

Рисунок 3 – Кодирование ближайшей окрестности робота квадрантным кодом:
а) препятствий нет; б) прямо и справа расстояние норма;
в) расстояние имеет 5 уровней

Так как аналогичное кодирование окружающей обстановки используется в нечетких системах планирования траекторий [7], то этот код легко формируется на базе входных сигналов нечеткого регулятора прошедших этап фаззификации. В то же время центральный узел управления может на основе полученных кодов проанализировать поверхности решения для роботов, находящихся в зоне охвата системы технического зрения. На основе результатов анализа может быть скорректирована программа действий отдельных роботов. Такой подход к управлению коллективом роботов имеет отличительные особенности не только технологии расширенной реальности (использование оптических кодов), но и отдельные признаки технологий виртуальной реальности. Кодирование состояния ближайшей окрестности в виде квадрантного кода может быть отнесено к методике «виртуализации» датчиков, так как при анализе используется информация, полученная после обработки «сырых» данных сенсоров ближней локации.

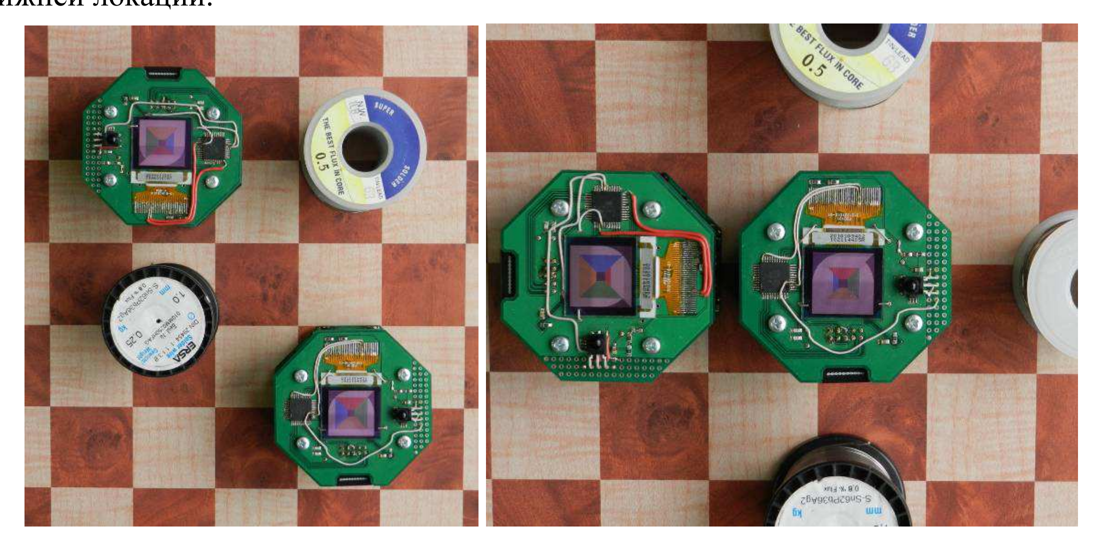


Рисунок 4 – Экспериментальная проверка квадрантных кодов

Система планирования траекторий: виртуальные препятствия

Построение систем планирования траекторий роботов, действующих в оперативной среде, где возможно присутствие не только стационарных препятствий, представляет достаточно сложную расчетную задачу. Сложность задачи увеличивается в случае использования системы приоритетов агентов коллектива, ограниченности коммуникационных и вычислительных возможностей роботов и т.д.

В настоящее время ведется разработка схем управления и алгоритмов планирования траектории с использованием нейронных карт для относительно небольших групп микророботов, осуществляющих перемещение в общем рабочем пространстве [6]. Схема управления реализуется по принципу «предрасчета», с распределенным блоком конструктора пути, когда каждый робот, помимо формирования собственной нейронной карты, также рассчитывает и собственную траекторию. При этом расчет и корректировка траектории производятся по ходу движения микроробота, и на каждом новом шаге находящиеся на небольшом удалении друг от друга участники коллектива обмениваются информацией о текущей и расчетной позициях своей траектории по каналам связи. Принцип работы системы по принципу «предрасчета» состоит в том, что каждый из роботов, движущихся в общем рабочем пространстве, обладает собственной нейронной сетью Хопфилда, формирующей по имеющимся данным о координатах цели и известных препятствий нейронную карту для данного агента. Затем локальные нейронные карты поступают на общий блок конструктора пути, который рассчитывает необходимые коррекции для траекторий, учитывая скорости движения агентов.

Расчет траекторий роботов система выполняет в следующем порядке:

1. Ввод начальных значений нейросети: координаты цели, расположение препятствий, возможно также использование вектора приоритетов $P = [P1,\ P2,\ \ldots,\ Pn]$ со значениями приоритета для 1-го, 2-го и n-го мобильного робота соответственно.
2. Формирование нейронных карт в виде матрицы энергии сети для каждого из агентов.
3. Работа конструктора пути.
4. Пошаговый расчет и коррекция траектории для каждого мобильного робота с учетом возникших конфликтных ситуаций и приоритетов.

Используя вектор приоритетов, или учитывая скоростные характеристики роботов при равенстве приоритетов, реализуется итерационный процесс коррекции траектории для робота с более низкими привилегиями. Для ситуаций, когда в конфликт вовлечено более 2 агентов, итерационный процесс затягивается и для некоторых вариантов окружения траектория строится с многочисленными остановками, резкими изменениями курса. Одним из вариантов решения данной проблемы видится использование системы виртуальных препятствий, искусственных шлейфов («траекторная комета»).

Виртуализация препятствий, изменение весовых характеристик соответствующих узлов нейросети позволяет избавиться от многошаговых итерационных процессов коррекции траекторий, тем самым поднять производительность системы планирования на 10 – 15% (по экспериментальным данным) и получить более гладкие, энергетически эффективные решения.

Результаты вычислительных экспериментов приведены на рис. 5. В настоящее время проводятся работы по созданию алгоритмического обеспечения бортовых систем управления роботами для проведения натурных проверок эффективности предлагаемого решения.

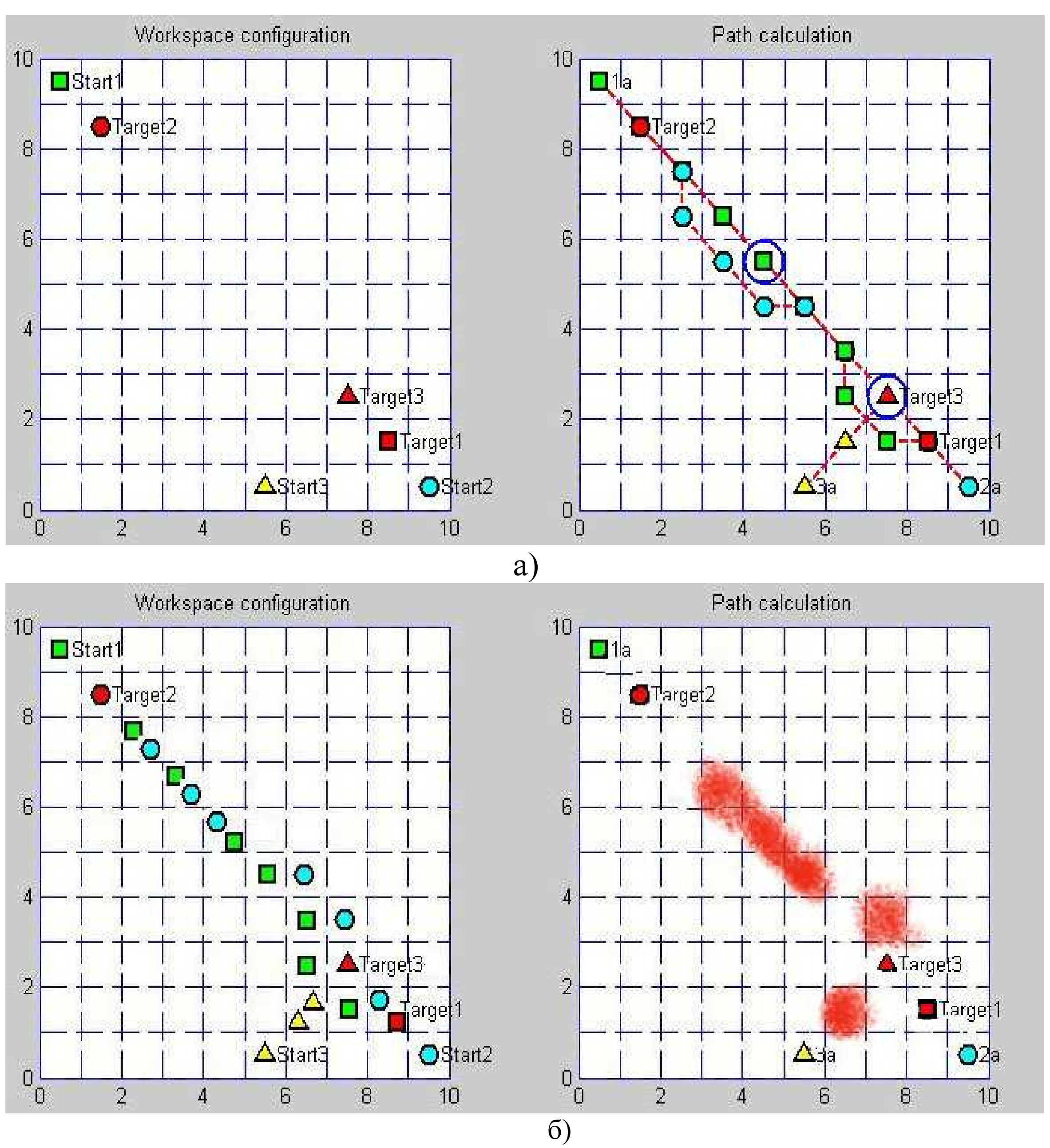


Рисунок 5 – Результат работы системы планирования: а) классическая нейросетевая реализация алгоритма; б) результат моделирования с виртуальными препятствиями и сгенерированным активным шлейфом (справа)

Выводы

Использование технологий виртуальной и расширенной реальностей в робототехнике имеет большие перспективы, которые связаны не только с расширением функциональных возможностей и эргономики визуального интерфейса оператора. В статье были рассмотрены вопросы использования различных оптических кодов

при построении многоканальной системы обмена информацией между агентами коллектива роботов и центральным узлом управления. Одновременно с организацией беспроводного обмена коды позволили виртуализировать часть бортовых датчиков локации, когда кодированные пакеты представляют собой уже обработанную информацию, представленную в удобном для последующего использования виде. Так предлагаемый квадрантный код позволяет сократить время работы навигационных подпрограмм и систем планирования траекторий. Показан также способ использования технологии виртуальной реальности при расчетах траекторий роботов в среде с наличием мобильных и статичных препятствий, который реализован путем внедрения в нейронные карты виртуальных препятствий и виртуальных шлейфов («траекторных комет») для движущихся роботов. Эффективность предлагаемых решений была проверена экспериментальным путем на математических моделях.

Благодарность

Автор выражает признательность за финансовую поддержку проводимых исследований Программе фундаментальных исследований №1 «Научные основы робототехники и мехатроники» ОЭММПУ РАН.

Литература

1. Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. – М. : Физматлит, 2009 . – 280 с.
2. Ющенко А.С. Интеллектуальное планирование в деятельности роботов / А.С. Ющенко // Мехатроника. – 2005. – № 3. – С. 5-18.
3. Ахтеров А.В. Способы управления распределенной мобильной системой в условиях неопределенности / А.В. Ахтеров [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2012. – № 67. – 32 с. – Режим доступа : URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-67.
4. Каляев И.А. Распределенные системы. Планирование действий коллективов роботов / Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. – М. : Янус, 2002. – 202 с.
5. Даринцев О.В. Использование технологий виртуализации при построении полунатурного робототехнического комплекса / О.В. Даринцев, А.Ю. Алексеев // Мавлютовские чтения : Российская научно-техническая конференция, посвящённая 85-летию со дня рождения член-корр. РАН, д.т.н., профессора Р.Р. Мавлютова : сб. трудов в 5 т. Том 5. / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2011. – С. 81-85.
6. Даринцев О.В. Нейросетевой алгоритм планирования траекторий для группы мобильных роботов / О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов, Б.С. Юдинцев // Искусственный интеллект. – 2011. – № 1. – С.154-160.
7. Даринцев О.В. Различные подходы управления движением мобильных роботов на основе технологий мягких вычислений / О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3 – С. 339-347.

Literatura

1. Modeli i algoritmy kollektivnogo upravlenija v gruppah robotov / I.A. Kaljaev, A.R. Gajduk, S.G. Kapustjan. – M.: Fizmatlit, 2009 . – 280 s.
2. Jushhenko A.S. Intellektual'noe planirovanie v dejatel'nosti robotov// Mehatronika, №3,2005. – S.5-18.
3. Sposoby upravlenija raspredelennoj mobil'noj sistemoj v uslovijah neopredelennosti / A.V.Ahterov [i dr.] // Preprinty IPM. 2012. № 67. 32 s. URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-67.
4. Kaljaev I.A., Gajduk A.R., Kapustjan S.G. Raspredelennye sistemy. Planirovanie dejstvij kollektivov robotov. - M.: Janus, 2002, 202 s.
5. Darincev O.V., Alekseev A.Ju. Ispol'zovanie tehnologij virtualizacii pri postroenii polunaturnogo robototehnicheskogo kompleksa// Mavljutovskie chtenija. Tom 5. – Ufa: UGATU, 2011. – S.81-85.

6. Darincev O.V., Migranov A.B., Judincev B.S // Iskusstvennyj intellekt №1, 2011, S.154-160
7. Darincev O.V. Migranov A.B. // Iskusstvennyj intellekt», №3 2012, S.339-347

O.V. Darintsev

Use of technologies of augmented and virtual realities at realization of control algorithms for robotics collective

The effective algorithms of control of robots and planning of their trajectories demand new approaches to synthesis procedure, newest techniques of processing and data presentation. In article the techniques of use of technologies of augmented and virtual realities which allow to increase control efficiency for collectives of microrobots are considered.

Virtualization of the near location sensors and presentation of processed information in the form of quadrant codes allows to reduce time of a fuzzification stage for input signals of an fuzzy control system. During the work with optical 2D codes the main problem is restriction on the maximum volume of a code at preservation of its identification ability. The decision is use of dynamic or multilayered (color) codes which keeping high resistance to mistakes, allow to use the big sizes of single elements of an optical marker.

Known neuronetwork methods of trajectories generation become more effective when using techniques of introduction in neural cards of virtual obstacles and generation of loops ("comet traces") for mobile objects. The results presented in article were received during imitating modeling.

Статья поступила в редакцию 05.04.2013.